

ОБРАБОТКА МЕТАЛЛОВ ДАВЛЕНИЕМ

УДК 621.77

Огарков Н.Н., Шеметова Е.С., Платов С.И., Терентьев Д.В., Кальченко А.А.

РАСЧЕТ ПАРАМЕТРОВ ВОЛОЧЕНИЯ БИМЕТАЛЛИЧЕСКОЙ ПРОВОЛОКИ, ИСКЛЮЧАЮЩИХ ПОТЕРЮ УСТОЙЧИВОСТИ ОБОЛОЧКИ

Аннотация. В работе представлены результаты теоретического анализа процесса волочения биметаллической проволоки. Получены теоретические зависимости по определению толщины оболочки, при которой ее материал теряет устойчивость, что, в свою очередь, приводит к разрушению покрытия из цветного металла при волочении. Полученные зависимости являются новыми и позволяют расчетным путем определить сочетание показателей, характеризующих параметры волочения без потери устойчивости, а соответственно, и нарушения целостности материала лакирующей оболочки. Проведенные исследования позволяют определить значения полууглов волоки, при которых происходит потеря устойчивости при деформировании оболочки. При этом учитываются степень деформации, условия трения на поверхностях контакта оболочки, волоки и сердечника, а также характер упрочнения материала оболочки. Установлено, что с увеличением степени обжатия, коэффициентов трения и склонности материала оболочки к упрочнению значения углов волоки, соответствующие потере устойчивости материала оболочки, возрастают и как следствие, увеличивается тенденция к вспучиванию оболочки при входе в рабочую часть волоки при волочении биметаллической проволоки.

Результаты проведенных исследований используются в дальнейшем при проектировании технологического процесса производства биметаллической проволоки.

Ключевые слова: биметаллическая проволока, лакирующая оболочка, устойчивость деформации, внеконтактная деформация, полуугол волоки.

Производство биметаллической проволоки требует соблюдения технических условий по толщине и качеству покрытий [1–3]. Известно, что для каждого материала, характеризующегося склонностью к упрочнению, требуются различные степени обжатия, углы наклона канала рабочей части волоки и определенные условия трения. Чаще всего металл, используемый для покрытий (медь, алюминий, цинк, латунь) мягче металла сердечника (например, стали), поэтому покрытие деформируется интенсивнее и может сопровождаться потерей устойчивости. В таких случаях наблюдается внеконтактная деформация, приводящая к вспучиванию лакирующей оболочки, запрессованию волоки и обрыву проволоки [4–7]. Для устранения этого явления обычно рекомендуют накладывать ограничения на величину обжатия, коэффициента трения и угла наклона конусной части волоки.

Существующие рекомендации по устранению вспучивания лакирующей оболочки являются неоднозначными, поскольку получены в различных условиях волочения и для материалов лакирующей оболочки, склонность к упрочнению которых различна, обобщающих экспериментальных и теоретических исследований до настоящего времени проводилось недостаточно. Имеются лишь единичные теоретические разработки, накладывающие ограничения на условия волочения биметаллической проволоки без вспучивания лакирующей оболочки и, как следствие, без образования внеконтактной деформации.

В настоящей работе предлагается расчетный метод определения допустимых соотношений между углом рабочей части волоки, условиями трения на контакте с волокой, а также размерами сечения биметал-

лической проволоки и склонностью материала оболочки к упрочнению для условия волочения без ее вспучивания. При решении этой задачи допускаем, что начало вспучивания оболочки соответствует потере устойчивости материала перед входом в волоку под действием продольных напряжений, действующих на оболочку. Предполагаем, что при достижении усилия, соответствующего потере устойчивости, лакирующая оболочка может свободно скользить по сердечнику проволоки. Эффект упрочнения материала оболочки в процессе деформации в зависимости от исходного предела напряжения текучести материала оболочки описываем зависимостью [8–11]

$$\bar{\sigma} = \sigma_{2H} (1 + a_2 \varepsilon)^{m_2}, \quad (1)$$

где $\bar{\sigma}$ – текущие значения напряжения материала оболочки;

σ_{2H} – напряжение текучести материала оболочки до начала пластической деформации;

a_2 – коэффициент;

ε – относительная деформация;

m_2 – показатель степенной зависимости упрочнения материала оболочки.

Допускаем, что если средний радиус оболочки перед входом в рабочую часть волоки не изменяется, то $d\varepsilon_\theta = 0$; $\varepsilon_h = 0$.

Из условия постоянства объема имеем $d\varepsilon_l = d\varepsilon_h$

или $\varepsilon_l = \varepsilon_h$.

Согласно уравнениям Леви – Мизеса [8]

$$\frac{d\varepsilon_l}{\sigma_l - \sigma_\theta} = \frac{d\varepsilon_l}{\sigma_\theta} \quad \text{или} \quad \varepsilon_l = 2\varepsilon_\theta. \quad (2)$$

Из уравнения (2) следует $\bar{\sigma} = \frac{\sqrt{3}}{2} \sigma_l$ и

$$d\bar{\varepsilon} = \frac{2}{3} d\varepsilon_l = -\frac{2}{3} d\varepsilon_h.$$

Учитывая, что до входа в рабочую часть матрицы радиус сердечника является постоянным, продольное усилие, действующее на оболочку, определяется зависимостью

$$P = \pi(R_0^2 - r_0^2)\sigma_l, \quad (3)$$

где R_0, r_0 – начальные наружный и внутренний радиусы оболочки;

σ_l – осевое напряжение оболочки.

Потеря устойчивости материала оболочки возникает при условии, когда $dP = 0$, т.е.

$$\frac{d\sigma_l}{\sigma_l} = \frac{dh}{h} = -d\varepsilon_h = d\varepsilon_l. \quad (4)$$

В соответствии с условием (4) и зависимостью (1) эффективная деформация и напряжение текучести материала оболочки в момент потери устойчивости определяются зависимостями:

$$\bar{\varepsilon} = \left(\frac{2}{a_2\sqrt{3}} - m \right) = \frac{2}{\sqrt{3}} \varepsilon_i; \quad (5)$$

$$\bar{\sigma} = \sigma_{2H} \cdot a_2^m \left(\frac{2}{\sqrt{3}} \right)^m = \frac{\sqrt{3}}{2\sigma_h}.$$

Толщина оболочки в момент потери устойчивости, а соответственно в начале вспучивания, определяется как

$$h = (R_0 - r_0) \exp\left(\frac{\sqrt{3}}{2a_2} - m\right). \quad (6)$$

Значения h , соответствующие потери устойчивости материала оболочки, приведены в табл. 1.

Таблица 1

Значения текущей толщины оболочки, соответствующие потери устойчивости для различных толщин оболочки и различных показателей упрочнения ее материала

$R_0 - r_{0i}$	$B=1/a_2$					
	m					
	0,10	0,15	0,20	0,25	0,30	0,43
0,25	0,537	0,511	0,486	0,462	0,440	0,420
0,5	1,075	1,023	0,973	0,925	0,880	0,822
1,0	2,15	2,046	1,946	1,851	1,761	1,682
2,0	4,302	4,092	3,893	3,703	3,522	3,305

В графическом виде данные табл. 1 приведены на рис. 1.

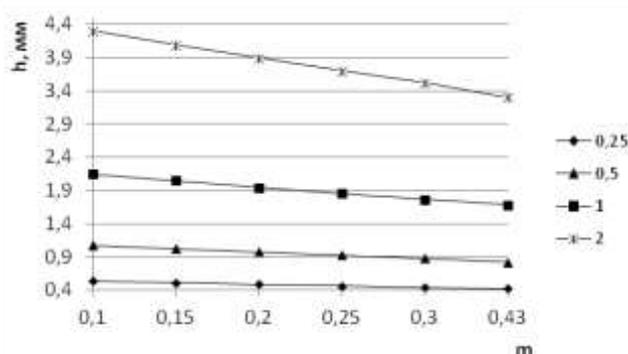


Рис. 1. Влияние показателей упрочнения на значения текущей толщины оболочки, соответствующие потери устойчивости при различных исходных толщинах оболочки

Анализ полученных значений показывает, что с увеличением коэффициента упрочнения материала оболочки текущее значение ее толщины, соответствующее потере устойчивости материала оболочки при входе в рабочую часть волокна, уменьшается.

Осевая нагрузка, действующая на оболочку, в момент потери устойчивости равна

$$P_0 = F_0 \frac{2}{\sqrt{3}} \sigma_{2H} \cdot a_2^m \left(\frac{2}{\sqrt{3}} m \right)^m \exp\left(\frac{\sqrt{3}}{2a_2} - m\right), \quad (7)$$

где F_0 – начальная площадь поперечного сечения оболочки.

С учетом размеров поперечного сечения оболочки выражение (7) преобразуется к виду

$$P_0 = \pi(R_0^2 - R^2) \exp\left(\frac{\sqrt{3}}{2a_2} - m\right) \frac{2}{\sqrt{3}} \sigma_{2H} \cdot a_2^m \left(\frac{2}{\sqrt{3}} m \right)^m. \quad (8)$$

Поведение материала оболочки в очаге деформации и его взаимодействие с сердечником проволоки можно представить как деформацию трубы при волочении с движущейся оправкой. Усилие волочения трубы P_1 с движущейся оправкой равно [3]

$$P_1 = 2\pi R \bar{\sigma} (R - r) \left(1 + \frac{tg\beta + f_1}{tg\alpha - tg\beta} \right) \ln\left(\frac{R_0 - r_0}{R - r}\right), \quad (9)$$

где f_1 – коэффициент трения материала оболочки о рабочую поверхность волокна;

β – полуугол наклона внутренней поверхности оболочки при деформации в волокне;

$\bar{\sigma}$ – текущие значения напряжения материала оболочки;

R, r – соответственно наружный и внутренний радиусы оболочки после волочения.

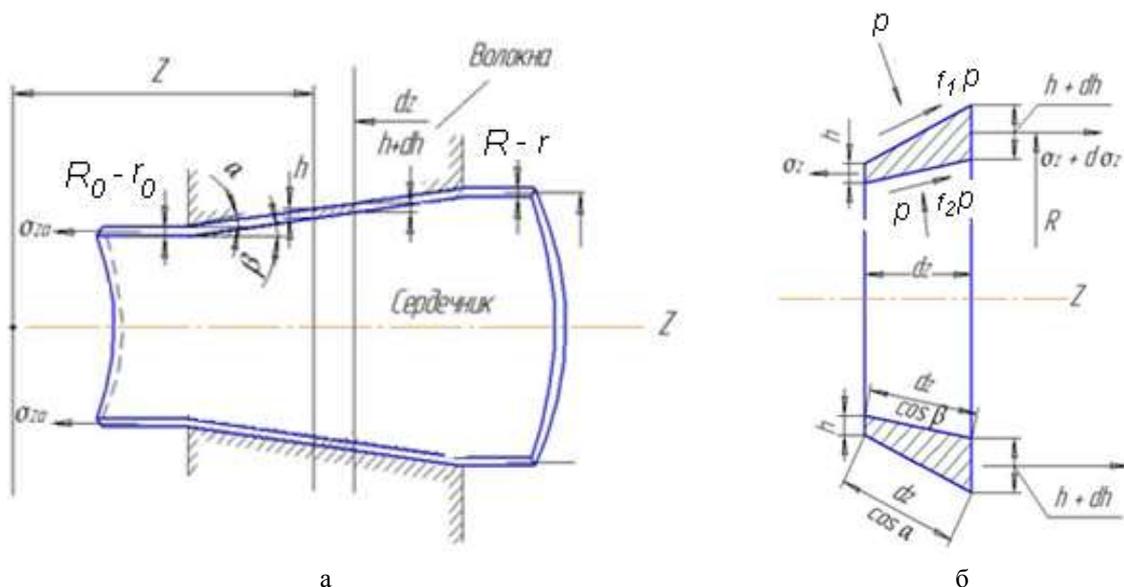


Рис. 2. Схема деформации плакирующей оболочки при волочении биметаллической проволоки: а – схема волочения оболочки; б – схема сил, действующих на элемент оболочки

В формуле (9) значение $tg\beta$ согласно схеме деформации определяется зависимостью

$$tg\beta = \left[\left(\frac{d_0 - d}{D_0 - D} \right) \cdot tg\alpha \right]. \quad (10)$$

Допуская, что усилие, приходящееся на оболочку, равно усилию волочения трубы из материала оболочки, приравняем усилия по зависимостям (8) и (10) и решим относительно полуугла волюки α :

$$\alpha = \arctg \frac{f_1 \sigma_{2H} \cdot a_2^m \left(\frac{2m}{\sqrt{3}} \right)^m \left(\frac{R_0 - r_0}{R - r} \right) \exp \left(\frac{2}{a_2 \sqrt{3}} - m \right)}{\sigma_{2H} \cdot a_2^m \left(\frac{2m}{\sqrt{3}} \right)^m \left(\frac{R_0 - r_0}{R - r} \right) \exp \left(\frac{\sqrt{3}}{2a_2} - m \right) - \bar{\sigma} \ln \left(\frac{R_0 - r_0}{R - r} \right) \left(m + \frac{2r_0 - r}{2R_0 - R} \right)}. \quad (11)$$

Или с учетом уравнения (5) и соотношения $\frac{R_0 - r_0}{R - r} = \mu \frac{D_{cp}}{D_{0cp}}$ получим

$$\alpha = \arctg \frac{f_1 \left(\mu \frac{D_{cp}}{D_{0cp}} \right)^m \exp \left(\frac{2}{a_2 \sqrt{3}} - m \right)}{\left(\mu \frac{D_{cp}}{D_{0cp}} \right)^m \exp \left(\frac{\sqrt{3}}{2a_2} - m \right) - \ln \left(\mu \frac{D_{cp}}{D_{0cp}} \right) \left(m + \frac{d_0 - d}{D_0 - D} \right)}. \quad (12)$$

Значения полуугла волюки, которые соответствуют потере устойчивости материала оболочки при входе в рабочую часть волюки, приведены в табл. 2.

Таблица 2

Значения полууглов волокна для различных толщин оболочки и различных показателей упрочнения ее материала

$R_0 - r_0$	$f = 0,05$							
	m							
$R - r$	0,10	0,15	0,20	0,25	0,30	0,35	0,40	0,43
1,1	3,08	3,11	3,13	3,15	3,17	3,19	3,21	3,24
1,2	3,27	3,31	3,36	3,4	3,44	3,48	3,51	3,55
1,3	3,41	3,48	3,55	3,61	3,66	3,72	3,77	3,82
1,4	3,54	3,62	3,7	3,78	3,85	3,92	3,98	4,04
$f = 0,1$								
m								
	0,10	0,15	0,20	0,25	0,30	0,35	0,40	0,43
1,1	6,15	6,20	6,25	6,29	6,33	6,37	6,40	6,43
1,2	6,51	6,60	6,69	6,78	6,85	6,93	7,0	7,07
1,3	6,81	6,94	7,07	7,18	7,30	7,40	7,50	7,55
1,4	7,05	7,22	7,37	7,52	7,67	7,80	7,92	7,98
$f = 0,15$								
m								
	0,10	0,15	0,20	0,25	0,30	0,35	0,40	0,43
1,1	9,18	9,25	9,32	9,39	9,45	9,50	9,56	10,0
1,2	9,71	9,85	9,98	10,10	10,22	10,33	10,43	10,49
1,3	10,15	10,35	10,53	10,71	10,87	11,03	10,17	10,24
1,4	10,51	10,75	10,99	11,21	11,41	11,61	11,79	11,85
$f = 0,2$								
m								
	0,10	0,15	0,20	0,25	0,30	0,35	0,40	0,43
1,1	12,16	12,26	12,35	12,43	12,51	12,58	12,65	12,69
1,2	12,86	13,04	13,21	13,37	13,52	13,66	13,79	13,85
1,3	13,43	13,68	13,92	14,15	14,36	14,57	14,75	14,81
1,4	13,89	14,21	14,51	14,80	15,06	15,32	15,56	15,62

В графическом виде данные табл. 2 приведена на рис. 3–6.

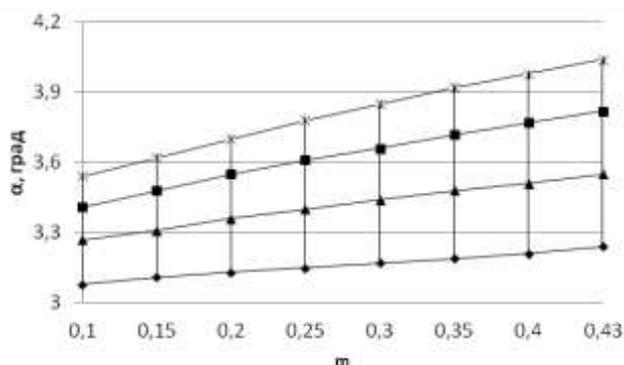


Рис. 3. Влияние показателей упрочнения на значения полууглов волокна при различных толщинах оболочки: \blacklozenge – 1,1 мкм; \blacktriangle – 1,2 мкм; \blacksquare – 1,3 мкм; \times – 1,4 мкм; при $f = 0,05$

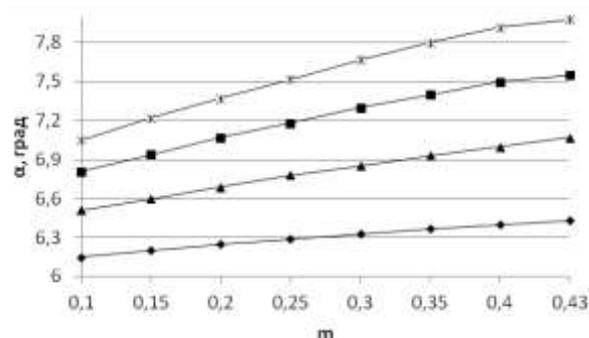


Рис. 4. Влияние показателей упрочнения на значения полууглов волокна при различных толщинах оболочки: \blacklozenge – 1,1 мкм; \blacktriangle – 1,2 мкм; \blacksquare – 1,3 мкм; \times – 1,4 мкм; при $f = 0,10$

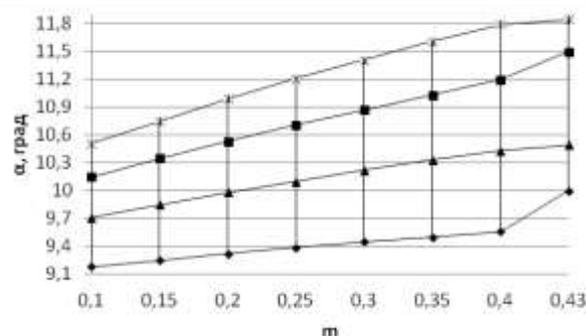


Рис. 5. Влияние показателей упрочнения на значения полууглов волокна при различных толщинах оболочки: \blacklozenge – 1,1 мкм; \blacktriangle – 1,2 мкм; \blacksquare – 1,3 мкм; \times – 1,4 мкм; при $f = 0,15$

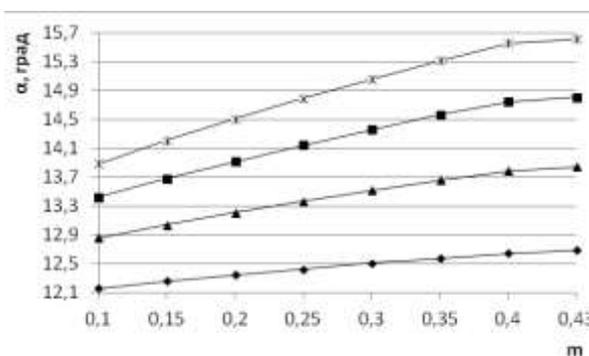


Рис. 6. Влияние показателей упрочнения на значения полууглов волокна при различных толщинах оболочки: \blacklozenge – 1,1 мкм; \blacktriangle – 1,2 мкм; \blacksquare – 1,3 мкм; \times – 1,4 мкм; при $f = 0,20$

Значения полууглов волокна в табл. 2 рассчитаны с учетом уравнения (12), в котором параметр $a_2 = 2,5$ и для коэффициентов трения $f_1 = f_2 = f$.

Анализ полученных значений показывает, что с увеличением степени обжатия, коэффициентов трения и склонности материала оболочки к упрочнению значения углов волокна, соответствующие потери устойчивости материала оболочки, возрастают и, как след-

ствие, увеличивается тенденция к вспучиванию оболочки при входе в рабочую часть волоки при волочении биметаллической проволоки.

Приведенные в таблице данные получены при равных значениях коэффициентов трения материала оболочки о поверхность волоки и сердечника, однако, из формулы (12) следует, что влияние коэффициентов трения f_1 и f_2 на изменение угла α различно. Более интенсивное влияние на изменение угла α оказывает коэффициент трения материала лакирующей оболочки о рабочую поверхность волоки.

Выводы

Выполнен расчет допустимых значений угла конусности волоки, исключаяющих вспучивание оболочки перед волокой с учетом степени ее упрочнения и коэффициента трения. Установлено, что с увеличением степени обжата, коэффициентов трения и склонности материала оболочки к упрочнению значения углов волоки, соответствующие потери устойчивости материала оболочки, возрастают и, как следствие, увеличивается тенденция к вспучиванию оболочки при входе в рабочую часть волоки при волочении биметаллической проволоки.

Полученные авторами зависимости являются новыми и позволяют расчетным путем определить сочетание показателей, характеризующих процессы волочения без потери устойчивости, а соответственно, и вспучивания материала лакирующей оболочки. Представлены расчетные значения толщины лакирующей оболочки и полууглов волоки, соответствующие потере устойчивости при деформировании оболочки в виде таблиц.

Материалы могут быть использованы при проектировании волок и разработке технологических процессов волочения биметаллической проволоки.

Список литературы

- Огарков Н.Н., Шеметова Е.С. Оценка устойчивости пластической деформации оболочки при волочении биметаллической проволоки // Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова. 2012. № 1 (37). С. 34-37.
- Маслоемкость контактных поверхностей в процессах обработки металлов давлением / Огарков Н.Н., Платов С.И., Шеметова Е.С., Самодурова М.Н., Терентьев Д.В., Некит В.А. // Металлург. 2017. № 1. С. 79-82.
- Шеметова Е.С. Устойчивость пластической деформации во внеконтактной зоне при волочении биметаллической проволоки с учетом упрочнения материала оболочки и сердечника // Моделирование и развитие процессов ОМД. 2011. № 1. С. 154-157.
- Внеконтактная деформация при волочении биметаллической проволоки с мягким покрытием. Сообщение 1 / Ю.И. Коковихин, М.Г. Поляков, И.Ш. Туктамышев, А.А. Кальченко // Изв. вузов. Черная металлургия. 1976. №2. С.80-83.
- Внеконтактная деформация при волочении биметаллической проволоки с мягким покрытием. Сообщение 2 / Ю.И. Коковихин, М.Г. Поляков, И.Ш. Туктамышев, А.А. Кальченко // Изв. вузов. Черная металлургия. 1976. №2. С.73-75.
- Шумилин И.М. Условия устойчивого волочения биметаллической проволоки // Сталь. 1977. № 12. С. 1124-1125.
- Огарков Н.Н., Налимова М.В. Определение условия обратного течения металла при волочении проволоки с покрытием // Моделирование и развитие технологических параметров обработки металлов давлением. 1988. С. 104 – 111
- Малинин Н.Н. Прикладная теория пластичности и ползучести. Изд. 2-е, перераб. и доп. М.: Машиностроение, 1975. 400 с.
- Аркулис Г.Э., Дорогобид В.Г. Теория пластичности. М.: Металлургия, 1987. 352 с.
- Реологические модели как основной элемент моделирования процессов обработки металлов давлением / Смирнов О.М., Тулупов С.А., Цепин М.А. и др. // Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова. 2008. №2. С 45-52.
- Томсен Э., Янг Ч., Кобаяши Ш. Механика пластических деформаций при обработке металлов. М.: Машиностроение, 1968. 504 с.

Сведения об авторах

Огарков Николай Николаевич – д-р техн. наук, Магнитогорск, Россия.

Шеметова Елена Сергеевна – ст. преп. кафедры машин и технологий обработки давлением и машиностроения, ФГБОУ ВО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова», Магнитогорск, Россия. E-mail: hellensh88@list.ru

Платов Сергей Иосифович – д-р техн. наук, зав. кафедрой машин и технологий обработки давлением и машиностроения, ФГБОУ ВО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова», Магнитогорск, Россия. E-mail: psipsimail.ru

Терентьев Дмитрий Вячеславович – д-р техн. наук, директор института элитных программ и открытого образования в социальных сетях, ФГБОУ ВО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова», Магнитогорск, Россия. E-mail: ktnterentyev@mail.ru.

Кальченко Александр Андреевич – канд. техн. наук, доцент кафедры машин и технологий обработки давлением и машиностроения, ФГБОУ ВО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова», Магнитогорск, Россия. E-mail: kalchenko1945@yandex.ru

INFORMATION ABOUT THE PAPER IN ENGLISH

CALCULATION OF DRAWING PARAMETERS OF BIMETALLIC WIRE THAT EXCLUDE LOSS OF SHELL STABILITY

Nikolai N. Ogarkov – D. Sci. (Eng.), Magnitogorsk, Russia.

Elena S. Shemetova – Assistant Professor, Nosov Magnitogorsk State Technical University, Magnitogorsk, Russia. E-mail: hellensh88@list.ru

Sergey I. Platov – D. Sci. (Eng.), Nosov Magnitogorsk State Technical University, Magnitogorsk, Russia. E-mail: psipsi@mail.ru

Dmitry V. Terentyev – D. Sci. (Eng.), Nosov Magnitogorsk State Technical University, Magnitogorsk, Russia. E-mail: ktnterentyev@mail.ru

Alexander A. Kalchenko – Ph.D. (Eng.), Nosov Magnitogorsk State Technical University, Magnitogorsk, Russia. E-mail: kalchenko.alekxandr@gmail.com

***Annotation.** A theoretical analysis of the process of drawing a bimetallic wire. Theoretical dependences are obtained for determining the thickness of the shell at which its material loses stability and, as a result, leads to its expansion during drawing. The obtained dependences are new and allow one to determine by calculating a combination of indicators characterizing drawing processes without loss of stability, and, accordingly, expansion of the material of the cladding shell. The values of the die half-angles corresponding to the loss of stability during shell deformation are presented, depending on the degree of deformation, the friction conditions of the shell on the contact surfaces with the wire and core, and on the hardening index of the shell material. It has been established that with an increase in the degree of compression, friction coefficients, and the tendency of the sheath material to harden, the values of the fiber angles, the corresponding loss of stability of the sheath material, increase and, as a result, the tendency to swell of the sheath at the entrance to the working part of the wire when drawing a bimetallic wire increases.*

***Keywords:** bimetal wire, cladding sheath, resistance to deformation, non-contact deformation, half-angle die.*

Ссылка на статью:

Огарков Н.Н., Шеметова Е.С., Платов С.И., Терентьев Д.В., Кальченко А.А. Расчет параметров волочения биметаллической проволоки, включающих потерю устойчивости оболочки // Теория и технология металлургического производства. 2020. №2(33). С. 18-23.

Ogarkov N.N., Shemetova E.S., Platov S.I., Terentyev D.V., Kalchenko A.A. Calculation of drawing parameters of bimetallic wire that exclude loss of shell stability. *Teoria i tehnologiya metallurgicheskogo proizvodstva*. [The theory and process engineering of metallurgical production]. 2020, vol. 33, no. 2, pp. 18-23.